Untersuchungen über das Tönen der Flammen flüssiger und fester Körper.

Von **Julius Peterin** und **Edmund Weiss**,

Eleven des k. k. physicalischen Institutes.

(Mit 1 Tafel.)

(Vorgetragen v. Herrn Regierungrathe A. R. v. Ettingshausen in der Sitzung vom 22. Juli 1858.)

Achtzig Jahre waren seit der Entdeckung der chemischen Harmonika durch Higgins verflossen, als die interessanten Arbeiten des Grafen Schaffgotsch zeigten, dass diese Erscheinung noch nicht in allen Theilen gehörig erforscht sei, und die Aufmerksamkeit der Physiker neuerdings diesem Phänomene zuwendeten. Der Wunsch, die von diesem und bald darauf von Tyndall angestellten merkwürdigen Versuche zu wiederholen und die verschiedenen Theorien der Entstehung des Tones in diesem Falle zu prüfen, veranlasste im Laufe des vorigen Winters Herrn Prof. J. Grailich in Verbindung mit einem von uns eine Reihe von Versuchen anzustellen, über deren Ergebnisse eine Notiz in den Schriften der k. Akademie Auskunft gibt [1]). Im Sommer dieses Jahres setzten wir diese Untersuchungen im k. k. physicalischen Institute fort, und versuchten, gestützt auf die fast ganz verschollene Bemerkung Brugnatelli's, dass auch brennender Phosphor tönt, eine Reihe von Flammen anderer fester und flüssiger Substanzen zum Tönen zu bringen. War doch auch bei Gasen lange Zeit hindurch behauptet worden, dass nur die Wasserstoff-Flamme tönt, bis Faraday nachwies, dass diese Eigenschaft „allen rasch verbrennenden Gasen" zukommt. Zu diesem Zwecke untersuchten wir folgende Flüssigkeiten und feste Körper.

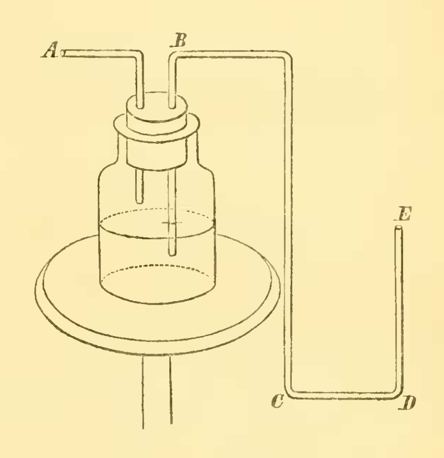
A. Flüssigkeiten.

Bei unseren Untersuchungen an denselben bedienten wir uns eines der Mariotte'schen Flasche ähnlichen Apparates, den wir uns

---

[1]) Über das Singen der Flammen v. J. Grailich u. E. Weiss. Sitzungsberichte Bd. XXIX, S. 271.

nach Angabe des Herrn Regierungsrathes von Ettingshausen zusammengestellt hatten, dessen Einrichtung aus der nebenstehenden Figur ersichtlich ist.



Beim Beginn der Versuche wurde durch Hineinblasen von Luft in das Rohr *A* die Flüssigkeit in den Schenkel *B* und von dort nach *C* und *D* getrieben, worauf sich dieselbe bei *E* zu einer gleichen Höhe mit der noch in der Flasche befindlichen erhob. Bei der Untersuchung der Flüssigkeiten mit Docht wurde dieser bei *E* hineingegeben; ohne Docht setzten wir, um die Grösse der verbrennenden Oberfläche beliebig zu ändern, Blechtrichter verschiedener Grösse bei *E* an.

Weingeist.

1. Mit Docht tönt er nur dann, wenn man diesen in mehrere Fäden zertheilt, und diese sternförmig um die Ausflussöffnung herumlegt, was die Oberfläche der Flamme, insbesondere ihre Weite sehr vergrössert. Mit einer solchen Flamme geht beim Darüberhalten des Cylinders eine überraschende Veränderung vor sich. Sobald der untere Rand des Cylinders beim Herabsenken eine gleiche Höhe mit der Ausströmungsöffnung erlangt, wird die Flamme plötzlich auf einen kleinen Bruchtheil ihrer früheren Länge deprimirt, und verliert die ohnedies geringe Helligkeit, die sie besitzt, fast vollends, indem sie nur tiefblau brennt; zugleich geben sich Anfänge der Tonbildung durch Auftreten eines Knatterns kund, das aber nur kurze Zeit andauert. Beim etwas tiefern Einsenken tönt die Flamme mit unregelmässigen Unterbrechungen; während des starken Tönens erscheint die Flamme schon mit freiem Auge stürmisch bewegt, während der Unterbrechungen erhält sie ihre natürliche Höhe und Farbe wieder, verliert jedoch beim Wiederbeginnen des Tönens

beides eben so rasch. Bei noch tieferem Einsenken wird der Ton regulär; die Intensität desselben nimmt, wie bei Gasflammen, bis zu einer gewissen Stelle zu, dann wieder ab, ja selbst an ein und demselben Orte nimmt die Intensität des Tones eine kurze Zeit hindurch zu.

2. Die Versuche ohne Docht gelingen am besten, wenn die brennende Fläche eine bedeutende Ausdehnung hat, also bei Trichteransätzen. Auch hier verkürzt sich beim Einsenken des Cylinders die Flamme sehr beträchtlich; beim weitern Einsenken entsteht aber bald ein starker, jedoch nicht vollkommen reiner, sondern schnarrender Ton, bei dem sich die Flamme in der Mitte aushöhlt. Dieser macht aber bald einem viel schwächern, der Höhe nach vollkommen constanten Tone Platz, bei dem sich ein prachtvolles Bild, nämlich eine spiralige Structur der Flamme darstellt. Sie gewinnt beim Eintreten des sanften Tones bedeutend an Leuchtkraft, indem die blaue einer gelben Farbe weicht; zugleich rollt sich die Flamme zu Spiralen auf, etwa wie es Fig. 1 und 2 versinnlichen.

Diese Erscheinung, die sich übrigens, wiewohl sehr selten und unvollkommen, auch bei etwas grösseren Leuchtgasflammen in weiten Cylindern einstellt, ist so zu sagen eine sichtbare Bestätigung der zuerst von Savart[1]) beobachteten Spiralbewegung der Luft beim Tönen, welche nach Fermond[2]) zur Bildung des Tones unumgänglich nöthig ist.

Die hier beschriebenen Versuche gelingen am besten mit weiten Cylindern; engere geben nur selten einen constanten Ton, eben so müssen wir bemerken, dass es uns bei Alkohol und den folgenden Substanzen nie gelang, gedeckte Cylinder zum Tönen zu bringen. Allein sehr auffallend zeigte sich bei diesen, dass die erwähnte Depression der Flamme nur durch die Entstehung des Tones bedingt wurde, denn sobald während des Tönens ein Cylinder bedeckt wurde, verschwand der Ton sogleich, und die Flamme erhielt ihre natürliche Farbe und ursprüngliche Länge, die sie ausserhalb des Cylinders hatte, wieder. Der Untersuchung der Flamme im rotirenden Spiegel steht die Lichtschwäche beim heftigen Tönen hindernd entgegen, so viel jedoch können wir behaupten, dass die Beschaffenheit der Flamme ganz der bei tönenden Gasen beobachteten ähnlich ist, und sich wie

---

[1]) Recherches sur les vibrations de l'air. Ann. d. chim. et phys. I. XXIV, p. 56.

[2]) Compt. rend. XVII. 800 u. XVIII. 171.

bei jenen mit der Grösse etwas ändert. (Fig. 3 und 4 zeigen solche Flammen so wie bei rascher Kopfbewegung mit freiem Auge, und wie sie im rotirenden Spiegel zu beobachten sind.)

Dem Alkohol in allen Stücken sehr ähnlich verhält sich

Holzgeist.

Er tönt etwas stärker als Weingeist und zeigt alle Erscheinungen wie jener, mit Einschluss der Spiralen. Schwieriger zu untersuchen ist

Äther.

Der Ton ist hier weit unregelmässiger, besonders bei grösseren Flammen, welche wegen der ausserordentlichen Flüchtigkeit desselben sehr leicht eintreten. Kleinere Flammen werden beim Darüberhalten des Rohres so stark deprimirt, dass sie meist erlöschen. Bei der Ätherflamme zeigte sich sehr auffallend der Einfluss der Lage der Schwingungsknoten auf die Grösse der Flamme; denn während am unteren Ende (wo bei offenen Röhren die Bewegung der Luft ihr Maximum erreicht) sich die Flamme auf etwa einen Zoll zusammenzog, erreichte sie höher oben (in der Nähe des Schwingungsknotens) wenigstens die 6fache Länge und hörte auf zu tönen.

Überhaupt machten wir die Bemerkung, dass breite Flammen leicht tönen, eine bedeutende Länge derselben zum Tönen jedoch nicht nur nichts beiträgt, sondern es sogar verhindert, wie dies auch aus Tyndall's Versuchen an Gasen deutlich hervorgeht.

Terpentinöl.

Auch dieses tönt so wie alle früheren mit und ohne Docht. Der Ton ist jedoch unregelmässiger und die schon beim Alkohol erwähnten, dem eigentlichen Tönen vorhergehenden Stösse sind vorherrschend. Das starke Russen dieser Flamme verhinderte jedoch insbesondere bei engen Cylindern jede genauere Beobachtung, da sich dieselben bei der nöthigen Flammengrösse sehr bald mit Russ beschlagen. Diesem Übelstande begegneten wir theilweise durch Mischen desselben mit Alkohol, erhielten aber dadurch so wie bei

Steinöl,

bei dem der Ton regelmässiger ist, blos Wiederholungen von schon früher beschriebenen Vorgängen.

Brennöl.

Dieses tönt sehr stark und zwar bei kleinen und auch unverhältnissmässig langen und grossen Flammen. Auch hier zieht sich dieselbe, besonders in der Nähe des unteren Endes des Cylinders, sehr stark zusammen, wobei der mattleuchtende Saum, in dem ein vollständiges Verbrennen vor sich geht, sich sehr vergrössert. Da auch hier der Ton sich am leichtesten bildet, wenn man den Docht ringförmig um den Rand der Öffnung legt, zertheilt sich die Flamme bei der starken stattfindenden Depression in so viele Flämmchen, als Fäden im Dochte vorhanden sind, was im rotirenden Spiegel zu sehr complicirten, beim ersten Anblick höchst frappanten Figuren und manchmal zu einem wahren feurigen Netzwerk Veranlassung gibt. Eine einfache Form davon ist in Fig. 5 abgebildet; sie entsteht dann, wenn der Docht blos aus zwei diametral gegenüberstehenden Fadenbündeln besteht. Eine Flamme mit den zum Tönen erforderlichen Eigenschaften erhält man auch, wenn man einen ungewundenen, aus Parallelfäden bestehenden Docht gehörig ausbreitet; diese eine Flamme gibt im Spiegel eine schöne hellleuchtende Wellenlinie, wie Fig. 6.

B. Feste Körper.

Durch die vorhergehenden Beobachtungen veranlasst versuchten wir, ob es uns nicht gelänge, auch Kerzenflammen, von denen das Tönen bisher stets in der entschiedensten Art geleugnet wurde, zum Tönen zu bringen. Wir untersuchten alle möglichen Arten derselben, und stets trat Tonbildung ein, bei jeder aber unter etwas geänderten Umständen.

1. Bei einem Wachskerzchen genügt es, um einen Ton hervorzubringen, wenn man den Docht einfach verbreitert, oder noch besser in einzelne Fäden zertheilt und diese eben so sternförmig ausbreitet wie bei den Flüssigkeitsflammen; selbst dies kann man, bei weiten Cylindern wenigstens, dadurch umgehen, dass man mehrere Wachskerzchen, etwa 3, zusammengibt und zugleich anzündet. Auch hier bemerkt man ein auffallendes Verkürzen der Flamme und im Spiegel ein welliges Aussehen.

2. Eine gewöhnliche Talgkerze gibt ebenfalls einen schönen Ton, wenn man nur den Docht gehörig ausbreitet.

3. Gewöhnliche Stearinkerzen tönen selbst dann nicht, wenn man sie mit auseinander gewundenem Docht in die Röhre bringt (vielleicht wegen zu viel Wärmeverbrauch zum Schmelzen des Stearins ?), zeigen aber eine Disposition zu demselben, indem man an ihnen ein merkwürdiges Analogon der Spiralbildung bei Alkohol etc. sieht. Es wird nämlich die Flamme, besonders in der Nähe des untern Randes des Cylinders, bis auf das Stearin hinabgedrückt und nimmt eine sonderbare, den Windungen einer Schraube nicht unähnliche Gestalt an. Bei weiterem Heben der Kerze verschwindet diese Form und weicht der gewöhnlichen; man kann sie aber sogleich wieder herstellen, wenn man durch ein Glasröhrchen, dessen Spitze in dem Cylinder oberhalb der brennenden Kerze steht, bläst; dies ist eine neue, nicht uninteressante Bestätigung der Behauptung Fermond's, indem sich dabei ein, wiewohl schwacher, manchmal auch kaum hörbarer Ton bildet. Um die Stearinkerze zum Tönen zu bringen, ist es nöthig selbst bei weiten Cylindern ihre Dicke, etwa durch Abschneiden eines Theiles des Stearins zu verringern, dann aber tritt das Tönen sehr leicht ein.

Wir können nicht unterlassen, hier zu bemerken, dass ein welliges Aussehen der Flamme im Spiegel nicht nothwendig darauf führt, dass sie tönen müsse. Um einer beliebigen Flamme ein vibratorisches Flackern und im Spiegel eine wellenartige Form zu verleihen, ist es schon hinreichend sie in einen Cylinder zu bringen, in dem schon eine andere, tönende, sich befindet. Lässt man z. B. in einem Cylinder eine Leuchtgasflamme tönen und führt in denselben ein Wachskerzchen ein, so bemerkt man im Spiegel, dass es ebenfalls ein wellenförmiges Band bildet. Nähert man es nach und nach der tönenden Flamme, so sieht man sehr deutlich die vollkommenste Harmonie der Wellenthäler und Wellenberge, wenn beide Bilder über einander stehen. Ein weiteres Hinaufrücken des Kerzchens zeigt dann durch Schwächerwerden der Ausbiegungen ein Annähern an Schwingungsknoten. Allein die Flamme ist hier nicht mehr mit Vortheil anzuwenden, weil sich dieselbe bei dem Hinaufströmen der erhitzten Luft unmässig vergrössert; bessere Dienste leistet dann eine zweite Gasflamme statt des Kerzchens [1]).

---

[1]) Vergl. Sitzb. 29, 278.

Schwefel.

Dieser liefert ein sehr instructives Beispiel, dass die Flammen aller Substanzen zum Tönen gebracht werden können, wenn man sie nur in die dazu erforderlichen Verhältnisse bringt. Während nämlich, wahrscheinlich der kleinen Flamme und geringen Hitze wegen, nie ein Ton zu Stande kommt, wenn man Schwefel in einem Porzellanschälchen oder in einem Trichter im Cylinder brennen lässt, entsteht sogleich ein ziemlich intensiver Ton, sobald man mit Schwefel überzogene Dochtfäden anzündet.

Nach dem Vorhergehenden kann es wohl kaum zweifelhaft sein, dass jede brennbare Substanz unter die geeigneten Bedingungen versetzt in Cylindern Töne hervorbringen könne. Überblickt man die Verhältnisse, unter denen die oben angeführten Substanzen tönen, so stellt sich alsbald heraus, dass unter den die Tonbildung fördernden Mitteln vor allen zu nennen ist das Ausbreiten der Flamme, also eine Vergrösserung der brennenden Oberfläche, womit natürlich eine grössere Wärmeentwicklung verbunden ist. Eben so wichtig ist die freie Beweglichkeit der Flamme; wird sie durch den aufrechtstehenden Docht gehindert, den auf sie einwirkenden Impulsen zu folgen, so kann es höchstens zur Spiralbildung kommen, nie aber entsteht ein continuirlicher Ton, wie es insbesondere aus dem von der Stearinkerze Gesagten ersichtlich ist. Wird dieses Hemmniss beseitigt, was durch Zertheilung des Dochtes in Fäden und sternförmige Ausbreitung desselben geschieht, so tritt auch das Tönen sogleich ein. Alle diese Thatsachen stehen in voller Übereinstimmung mit dem was über die Tonbildung in der chemischen Harmonika in dem mehrerwähnten Aufsatze über das Singen der Flammen gesagt ist.

Bei dieser Gelegenheit erwähnen wir nur noch, dass wir bei unsern Untersuchungen mehrfach zur Überzeugung gelangten, dass die chemische Harmonika mit Nutzen bei der Beantwortung mancher die Akustik betreffenden Fragen verwendet werden kann. Dafür spricht schon das oben erwähnte Veranschaulichen der Spiralbewegung der Luft. Eine andere ähnliche Frage bietet sich in den Combinationstönen dar. Hier kann sie zur endgiltigen Entscheidung der Frage über den subjectiven oder objectiven Grund dieser Töne dienen. Sind dieselben objectiv, so muss sich dieses in der Verschiedenheit

Peterin u. Weiss. Über das Tönen von Flammen

